

Vissen in troebel water

Over identificeren en kwantificeren van milieuverontreinigende stoffen

door prof.dr. J. de Boer

VISSEN IN TROEBEL WATER

Over identificeren en kwantificeren van milieuverontreinigende stoffen

door prof.dr. J. de Boer

Inaugurele rede, uitgesproken op 13 oktober 2005 bij de aanvaarding van het ambt van persoonlijk hoogleraar in de Analytische Milieuchemie aan de Wageningen Universiteit.

1. Inleiding

Mijnheer de Rector magnificus, hooggeleerde collegae, zeer gewaardeerde toehoorders. Van een visserijonderzoeker mag men verwachten dat zijn inaugurele rede over vis zal handelen. In die zin zal de titel van deze rede u niet verrassen. Echter, een toelichting hierop is wel noodzakelijk. Bewust heb ik het lidwoord uit de titel weggelaten. Gaat het om *de* vissen of *het* vissen? Het gaat om allebei, maar het accent zal op *het* vissen liggen, waarbij het woord vissen in de zin van 'uitvissen' of 'zoeken naar' moet worden geïnterpreteerd. Het zoeken naar iets in troebel water is daarom het hoofdthema, waarbij het 'iets' de oorzaak van de vertroebeling is. *De* vissen komen ook ter sprake, maar dan veel meer als meewerkend voorwerp bij *het* vissen dan als onderwerp. Ik sta hier dan ook veel meer voor u als een milieuonderzoeker dan als visserijonderzoeker, maar dan wel als milieuonderzoeker die dankbaar gebruik maakt van de vis als een biomonitor. Met behulp van de vis en de analytische scheikunde wordt geprobeerd de veroorzakers van het 'troebele' water te identificeren en te kwantificeren.

2. 'Troebel' water

Bij het begin van mijn werk als milieuonderzoeker in 1974 was het vóórkomen van troebel water in Nederland een dagelijks terugkerend thema. Overbelasting met organische stoffen leidde tot zuurstofgebrek en 'dood' water. De in de jaren daarna gebouwde zuiveringsinstallaties hebben ervoor gezorgd dat troebel water in Nederland inmiddels al lang geen zorgpunt meer is. Helaas waren de milieuproblemen daarmee niet opgelost. Rachel Carson in haar boek 'Silent Spring' [1] en de Club van Rome [2] stelden al in de zestiger en zeventiger jaren andere problemen aan de orde. Restanten van bestrijdingsmiddelen zoals DDT bleken eischaalverdunding van roofvogels en daarmee gepaard gaande teruglopende broedsuccessen te veroorzaken. Een significante bijdrage aan de kennis op dit gebied werd geleverd door de hooggeleerde Koeman in zijn proefschrift 'Het vóórkomen en de toxicologische betekenis van enkele chloorkoolwaterstoffen aan de Nederlandse kust in de periode van 1965 tot 1970' [3]. Hij toonde aan dat DDT en aanverwante gechloreerde pesticiden zoals dieldrin dergelijke effecten veroorzaakten. De combinatie van persistentie en grote vetoplosbaarheid zorgde ervoor dat deze stoffen zich ophoopten in organismen en verder concentreerden in de voedselketen waar ze bovendien niet meer uit verdwenen. Kort na de ontdekking van DDT in het milieu werd op de Universiteit van Stockholm door de hooggeleerde Jensen de aanwezigheid van polychloorbifenylen (PCBs) in het milieu ontdekt [4]. Deze PCBs, nuttig in veel industriële toepassingen, bezitten overeenkomstige eigenschappen als DDT en werden in nog grotere hoeveelheden in het milieu gebracht. Het aquatische deel van het milieu fungeert hierbij helaas als een vergaarbak voor dit soort stoffen. De affiniteit van deze lipofiele stoffen met water is uiteraard gering, maar het gevolg daarvan is dat ze het sediment opzoeken om daaraan te adsorberen en het vet van organismen om daarin te worden geabsorbeerd. De vis die het letterlijk troebele water nog net had overleefd dreigde nu het slachtoffer te worden van het troebele water in figuurlijke zin. Nog meer 'troubles' waren in aantocht. De Seveso ramp waarin de niet bewust geproduceerde dioxines een hele stad onleefbaar maakten, deed ons kennis maken met de gechloreerde dioxines en furanen, op het botulinetoxine na de meest giftige stoffen ter wereld. Vorig jaar bleek nog maar eens wat er kan gebeuren als iemand een kopje dioxine bevattende soep consumeert: de Oekraïense president Yushchenko vertoonde een zeer snel verouderend gezicht en zal te maken blijven houden met diverse gezondheidsproblemen. De verontreiniging van de Noord-Hollandse Volgermeerpolder liet zien dat ook Nederland niet aan deze stoffen kon

ontkomen. De Likkebaert koemelk-affaire toonde vervolgens aan dat dioxines niet alleen als bijproduct van de chemische industrie kunnen worden gegenereerd maar ook kunnen ontstaan als product van onvolledige verbranding in vuilverbrandingsinstallaties. Het vóórkomen van deze toxische stoffen in het milieu bleek niet, zoals met het letterlijke troebele water, alleen maar een lokaal probleem te zijn. Het bleek dat deze stoffen via luchtstromen over grote afstanden konden worden vervoerd. De begrippen 'global distillation' en 'grasshopper effect' deden hun intrede. Via een dynamisch evenwicht tussen water en lucht verplaatsen organohalogenen verbindingen zich van de evenaar richting Noordpool. Het Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP) toonde aan dat hoge gehalten aan PCBs en aanverwante stoffen zich ophopen in organismen uit het poolgebied [5]. Een treffend voorbeeld van een dergelijk proces is het gedrag van toxafeen. Dit zeer complexe mengsel van gechloreerde bormanen en bornenen is veel toegepast als pesticide op katoen plantages, onder andere in het zuiden van de Verenigde Staten. Jarenlang werd toxafeen ook daar en later in Nicaragua geproduceerd. De hoogste toxafeen gehalten in aquatische organismen worden echter juist aangetroffen in het Noordpoolgebied, alwaar de stof met de sneeuw naar beneden komt. Voor een geringer deel komt deze toxafeen via uitregenen ook in noord-west Europa terecht, waardoor ook Noordzee vis met deze stof besmet is geraakt. Langzamerhand werd in de tachtiger jaren duidelijk dat paal en perk moest worden gesteld aan dit type wereldwijd verspreide verontreinigingen om te voorkómen dat de mens en de toekomstige generaties niet teveel hinder hiervan zouden gaan ondervinden. Het kwam tot een verbod van de productie van PCBs en van een aantal andere organochloor pesticiden. Ook van DDT, maar dan niet volledig. DDT is namelijk zeer effectief tegen malaria en een goed alternatief is nog steeds niet gevonden. Gehoopt mag worden dat de recente financiële injectie van Bill Gates aan onder meer deze universiteit daar snel verandering in zal brengen. Op beperkte schaal wordt DDT in Afrika daarom nu nog steeds toegepast. Op een meer verborgen wijze komt er ook nog steeds DDT in het Nederlandse milieu terecht: het toegestane bestrijdingsmiddel dicofol bevat maar liefst 7% DDT. Mogelijk zorgt dit ook voor verhoogde gehalten van de minder bekende, aan DDT gerelateerde stof tris(4-chloorfenyl)methanol. Vuilverbrandingen werden in sommige landen, waaronder Nederland, grondig aangepakt zodat de dioxine uitstoot kon worden beperkt. Langzaam dalende trends van dioxinegehalten in Nederlandse melk en van PCBs deden het vermoeden ontstaan dat het tij was gekeerd. Mede onder druk van bezuinigingen deed dit autoriteiten in het begin van de negentiger jaren besluiten monitor- en controleprogramma's voor dit soort stoffen sterk in te perken. Helaas, al spoedig bleek dat er voor een dergelijk optimisme of misschien ook het 'niet willen weten' geen basis was. Ik geef u drie voorbeelden hiervan.

Het wereldwijd sterk toegenomen gebruik van kunststoffen en electronica heeft geleid tot een lagere brandveiligheid. In wettelijke voorschriften in Westerse landen werd daarom vastgelegd dat ter voorkoming van brand flinke hoeveelheden van zogenaamde brandvertragers moesten worden toegevoegd aan een groot aantal producten variërend van allerlei plastics, vloerbedekking, meubelbekleding en dakbedekking tot auto- en vliegtuigstoelen, TVs, computers en andere elektronische apparatuur. Vanwege de grote effectiviteit en betrekkelijk geringe productiekosten werden voor dit doel in hoofdzaak gebromeerde vlamvertragers gebruikt: gebromeerde difenylethers (PBDE's), tetrabroombisfenol-A (TBBP-A), hexabroomcyclododecaan (HBCD) en anderen. De milieueisen die aan dit soort stoffen werden gesteld waren beperkt, vanwege nog uit de zestiger jaren daterende patenten. Deze vlamvertragers werden spoedig ook in het aquatische milieu aangetroffen, aanvankelijk, vanaf 1978, op bescheiden schaal. Vanaf het eind van de negentiger jaren bleek echter dat de omvang van deze verontreiniging de vormen dreigde aan te nemen van de net 'opgeloste' PCB problematiek. Samen met de zeergeleerde Boon van het

NIOZ waren we in 1998 in staat de aanwezigheid van PBDE's in potvissen aan te tonen [6]. Door een volledig leeg maag-darmkanaal kon de aanwezigheid van deze stoffen alleen verklaard worden door een opname van voedsel ten tijde van hun verblijf op grotere diepten van de noordelijke Atlantische Oceaan. Dit was uiteraard een sterke aanwijzing voor de globale verspreiding van deze stoffen. De door het Karolinska Instituut in Stockholm aangetoonde exponentiële stijging van PBDE gehalten in Zweedse moedermelk was een verdere bevestiging van een nieuw milieuprobleem [7].

Het tweede voorbeeld betreft de zogenaamde Belgische dioxinecrisis [8]. Een voorraad motorolie die illegaal was voorzien van een grote hoeveelheid PCBs en gechloreerde dibenzofuranen was gemengd met kippenvoer. Oplettendheid van een Belgische dierenarts en de kundigheid van de RIKILT collega's brachten een zeer ernstige voedselverontreiniging aan het licht met ernstige financiële schade voor retailers en aanverwante bedrijven, die uiteindelijk zelfs leidde tot de val van de Belgische regering. Gebrek aan voldoende controle, de vanwege bezuinigingen opgeheven monitorprogramma's, een serie van menselijke fouten en bewust illegaal handelen waren de oorzaak van dit schandaal. Het doorberekenen van onkosten voor de verwijdering van PCB houdend afval aan de 'klant' in plaats van het aanmoedigen door de overheid van de verwijdering van dit soort voorraden door ze gratis in te nemen werd daarmee ook een pikant voorbeeld van het Engelse gezegde 'pennywise-poundfoolish'. Tot aan vandaag de dag is dit beleid nog ongewijzigd.

Inmiddels zijn wij op het RIVO, na kennis te hebben genomen van Amerikaanse studies, begonnen met onderzoek aan gefluoreerde alkylverbindingen in het milieu en ons voedsel [9]. Deze stoffen hebben een veelheid aan toepassingen, vooral als vuil- en waterafstotende stof op tapijt en op regenkleding, als vetafstotende stof in fast food verpakkingen zoals pizzadozen, als waterafstotende stof in skiwax en in een aantal industriële processen. Eerste studies uitgevoerd aan de universiteit van Michigan wijzen op betrekkelijk hoge gehalten van deze stoffen in het milieu, gepaard aan een relatief hoge toxiciteit. Vrijwel tegelijkertijd is de productie van een belangrijke vertegenwoordiger van deze stofgroep, perfluorooctylsulfonaat (PFOS), door sommige bedrijven stopgezet. De bereidheid van bedrijven om actie te ondernemen naar aanleiding van gefundeerd wetenschappelijk onderzoek is inderdaad aantoonbaar verbeterd in vergelijking met de zeventiger en tachtiger jaren. Dit geldt in dezelfde mate voor de broomindustrie en de productie van gebromeerde vlamvertragers. Echter, aandacht van wetenschappers blijft geboden omdat het blijkbaar herhaaldelijk mogelijk is om over te gaan op de productie van gerelateerde, blijkbaar ook eerder gepatenteerde stoffen. In dit voorbeeld van PFOS is dat perfluorbutylsulfonaat (PFBS), in het geval van de gebromeerde difenylethers was dat hexabroomcyclododecaan (HBCD) en in het geval van de hier verder niet besproken muskaat geurstoffen in cosmetische produkten en wasmiddelen waren dat de polycyclische musken. Het middel kan daarbij erger zijn dan de kwaal! Ik zou daarom met klem willen pleiten voor het op Europees niveau overzichtelijk en inzichtelijk maken van alle patenten van chemische stoffen uit eerdere jaren, zodat zonodig uit voorzorg de productie van bepaalde stoffen of stofgroepen *als geheel* kan worden beperkt of verboden indien ervaringen met gelijkende stoffen of stofgroepen daar argumenten voor aanleveren.

Ter relativering van het voorgaande is het ook goed om even vanuit een andere invalshoek naar deze zaken te kijken. Vlak voor het jaarlijkse Dioxin Symposium in Toronto in augustus van dit jaar crashte op het vliegveld van Toronto een airbus van Air France. De honderden inzittenden konden allemaal uit het brandende toestel worden gered doordat de onstane brand vertraagd werd door vlamvertragers en doordat de uitgerukte brandweer spoot met AFFF

schuim. Dit laatste veroorzaakte een milieuozon van ca. 300 kg PFOS, dat voor 3% in AFFF schuim aanwezig is, in een nabij gelegen riviertje. De gerechten zullen daar in elk geval niet van wakker hebben gelegen. Met andere woorden: steeds zullen we een goede risico evaluatie moeten uitvoeren. Milieu-effecten vragen om vervanging van bepaalde stoffen door milieuvriendelijker alternatieven. Brandveiligheid vraagt om beschermende stoffen ter voorkoming van slachtoffers. Een grote verantwoordelijkheid voor beleidsmakers en onderzoekers om de juiste keuzes te maken.

De door voornoemde recente zaken hernieuwde belangstelling voor contaminanten heeft zich vanaf het begin van deze eeuw meer vertaald in onderzoek aan voedselveiligheid dan in milieuonderzoek. Wat dit soort stoffen betreft zijn deze twee gebieden natuurlijk onlosmakelijk met elkaar verbonden, maar blijkbaar is de mens van de 21e eeuw meer op zijn eigen geluk en veiligheid gericht dan die uit de 20e eeuw. De basisvragen blijven hetzelfde: hoe kunnen we deze stoffen meten, wat betekenen ze en wat kunnen we eraan doen?

3. Het vissen

Met *het* vissen komen we terecht op het terrein van de analytische scheikunde: hoe meten we deze stoffen? Het uitvissen, het spoorwerk: het zoeken naar de soms bekende maar veelal onbekende speld in de hooiberg. Gegeven de lage concentraties waarin deze microverontreinigingen voorkomen, zijn de dimensies van de speld en de hooiberg eigenlijk niet juist. De huidige Europese norm voor dioxines in vis geeft bijvoorbeeld aan dat er niet meer dan 4 picogram (10^{-12} gram) aan equivalenten van tetrachloor-*p*-dibenzodioxine (TCDD) in een gram vis aanwezig mag zijn. Dat komt ongeveer overeen met een tiende millimeter op de afstand tussen de aarde en de maan, of met een paar korrels suiker op het hele Noordzeekanaal. Voor een echt betrouwbare meting moeten we eigenlijk nog zo'n tien keer gevoeliger meten. Gelukkig hebben we een instrumentele ontwikkeling gezien die ons in staat stelt degelijke lage gehalten ook daadwerkelijk te meten. Sinds de zeventiger jaren is op dit punt meer dan een factor 10^6 winst geboekt, van microgram per gram via nanogram per gram naar picogram per gram. In absolute zin in de massaspectrometer zijn we al in staat om attogrammen (10^{-18} gram) te meten, zoals door collega Patterson van het Center for Disease Control in Atlanta op het recente Dioxin symposium in Toronto werd gepresenteerd. De zeptomolen (10^{-21}) zijn in zicht, zodat we zonder twijfel in de toekomst in staat zullen zijn om de moleculen te tellen. Deze wel hele malle molen laten we nog maar even voor wat ze zijn. Op het ogenblik is het meten van picogrammen echter nog een flinke uitdaging. Een kort overzicht van de ontwikkelingen.

3.1. Identificatie

Ruim 100 jaar geleden werd door de Rus Tswett de chromatografie ontdekt waarmee verschillende stoffen op basis van kleur (*chromatos* in het Grieks) van elkaar gescheiden konden worden. In 1958 werd een variant daarvan ontwikkeld waarbij stoffen op basis van vluchtigheid en verdeling over een vloeibare en een gasfase van elkaar konden worden gescheiden. De gas-vloeistof chromatografie, afgekort als GLC, was geboren [10], nu vaak alleen nog aangeduid als gaschromatografie of GC. Het voordeel van deze techniek is dat zeer gevoelige detectoren, zoals de elektroneninvangdetector (ECD) die juist zeer gevoelig is voor halogenen, kunnen worden gecombineerd met de scheidingsmethode zodat op een veel lager niveau kan worden gemeten dan met de oorspronkelijke papierchromatografie. De combinatie van vluchtigheid en a-polair karakter van stoffen als PCBs en DDT maakt dat GC een uitermate geschikte scheidingsmethode voor deze stoffen is. GC heeft een sterke ontwikkeling

doorgemaakt. De gepakte GC kolommen konden in 1978 worden vervangen door eerst glazen en daarna fused silica capillaire kolommen. Opnieuw een doorbraak: veel betere scheidingen werden tot stand gebracht. Het werd mogelijk om, waar eerst alleen een totaal schatting van bijvoorbeeld het PCB gehalte kon worden gemaakt, nu specifieke congenen te meten. Maar de complexiteit van de mengsels van verontreinigingen oversteeg nog het scheidend vermogen van de capillaire kolommen. Multi-dimensionale GC leek een uitkomst: installeer twee GC kolommen achter elkaar, stuur de gewenste pieken door naar de tweede kolom met een afwijkend scheidingsmechanisme en zorg op die manier voor voldoende scheiding, in feite gebruik makend van twee dimensies. Helaas, ondanks de goede resultaten waren er teveel nadelen: het was bijvoorbeeld zeer tijdrovend om al die heart-cuts te verzamelen omdat er maar drie of vier per run konden worden gemaakt. Mooi zou het zijn om alle pieken uit de eerste dimensie op de tweede kolom te kunnen scheiden. Ook dat is nu gelukt, gebruik makend van comprehensive twee-dimensionale GC of GCxGC. In het comprehensive 2-dimensionale gaschromatogram zien we een veelvoud van complexe mengsels van gehalogeneerde contaminanten gescheiden met deze techniek. Een prachtig resultaat van ruim dertig jaar onderzoek, vooral tot stand gekomen dankzij het doorzettingsvermogen van twee getalenteerde AIOs, de zeergeleerde De Geus [11] en bijna zeer geleerde Korytar [12]. Zijn we daarmee nu aan het eind van deze ontwikkelingen gekomen? Nee, ook nu zijn we er nog niet. De gechloteerde paraffinen, bestaande uit tienduizende congenen, houden ons bijvoorbeeld nog bezig. Eerste pogingen tot groepscheidingen zijn weliswaar al uitgevoerd, maar meer scheidend vermogen is vereist. Aan de detectiekant is inmiddels ook veel gewonnen. De Time-of-Flight massaspectrometer (MS) kan goed met GCxGC worden gecombineerd, waarbij voor elke piek zelfs een volledig massaspectrum kan worden gegenereerd. Om tot een betere gevoeligheid te komen, werd de electron impact mode aangevuld door de electron capture negative ion mode (ECNI). Met deze GCxGC-ECNI-ToF-MS kan nu zeer gevoelig worden gemeten, gebruik makend van drie dimensies. Ondanks de complex ogende opzet is deze techniek toch nog goedkoper dan de combinatie van GC en hoge resolutie massaspectrometrie. Opties voor het verder terugdringen van de ruis van kolommen zoals segment coating waarbij het voor- en achterstuk van de kolom ongecoat blijven zullen ongetwijfeld nog tot meer gevoeligheid leiden. Gebruik van nog kleinere kolom diameters en gebruik van alternatieve stationaire fasen zoals liquid cristalline fasen, zullen de scheidingskracht verder verhogen.

Sommige gehalogeneerde contaminanten lenen zich niet voor gaschromatografische analyse. Een te hoge polariteit is soms een hindernis. Andere stoffen zijn niet voldoende vluchtig of niet bestand tegen de relatief hoge temperaturen die in de GC heersen. Vloeistofchromatografie biedt tegenwoordig steeds vaker uitkomst in die gevallen. Een mooi voorbeeld daarvan is de analyse van de twee vlamvertragers tetrabroombisphenol-A (TBBP-A) en hexabroomcyclododecaan (HBCD). TBBP-A kan door zijn polaire karakter niet met GC geanalyseerd worden. HBCD bestaat uit drie isomeren die boven de 160 °C in elkaar overgaan. Voor beide stoffen werd recent een analysemethode gebaseerd op LC-MS ontwikkeld, die weliswaar iets minder gevoelig is dan GC methodes voor vergelijkbare stoffen, maar die voldoet voor het doormeten van vele milieumonsters op TBBP-A en HBCD.

3.2 Kwantificering

Hoewel de ontwikkelingen ons goede apparatuur hebben geschonken, bleek dat het niet altijd zo eenvoudig is om met die apparatuur betrouwbare metingen uit te voeren. Vanaf het begin van de activiteiten van de Marine Chemistry Working Group van de Internationale Raad voor Zeeonderzoek (ICES) in de tachtiger jaren zijn pogingen ondernomen om de onderlinge

vergelijkbaarheid van laboratoria te verbeteren. Was dat met metaal en nutrient analyses al lastig, veel moeilijker nog was dat met de organische microverontreinigingen. Lang heeft het geduurd voordat daar eerst enig inzicht en daarna ook verbetering in kwam. Het ontstaan van het QUASIMEME programma (Quality Assurance of Information for Marine Environmental Monitoring in Europe), uit initiatieven van de ICES Marine Chemistry werkgroep en de PCB werkgroep van het Europese Bureau voor Referentiematerialen (BCR), heeft hier in belangrijke mate aan bijgedragen [13]. De combinatie van training van analisten en onderzoekers en het organiseren van proficiency tests en van de zogenaamde 'learning exercises' bleek een goede mix voor de verbetering van de onderlinge resultaten en daarnaast, zeker zo belangrijk, het versterken van de onderlinge banden tussen Europese laboratoria. Het is dan ook een genoegen om te kunnen constateren dat QUASIMEME vanaf dit jaar wordt geleid vanuit de WUR in uitstekende samenwerking tussen Alterra en RIVO.

Gecertificeerde referentiematerialen (CRMs), nodig voor de ijking van methodes, werden jarenlang op uitstekende wijze geproduceerd door de BCR. Sinds de onbegrijpelijke beslissing om dit bureau op te heffen is de productie hiervan vrijwel tot stilstand gekomen. Dit, terwijl door de tegenwoordig vereiste accreditatie veel laboratoria nu juist meer dan ooit dringend behoefte hebben aan geschikte referentiematerialen.

De opgedane ervaring met de meting van organische microverontreinigingen als PCBs en organochloor pesticiden komt uiteraard van pas wanneer nieuwe verontreinigende stoffen gemeten moeten worden. Helaas is het echter vaak zo dat andere - hoewel gelijkende - stoffen toch weer een geheel eigen benadering vereisen. Een interessant voorbeeld hiervan is decabroomdifenylether (decaBDE), een gebromeerde vlamvertrager die in grote hoeveelheden wordt geproduceerd, die soms in relatief hoge gehalten in de onderwaterbodem wordt teruggevonden en die in structuur sterk gelijk op een PCB, waarbij de chlooratomen zijn vervangen door broomatomen en een zuurstofatoom is toegevoegd tussen de fenylringen. Waar voor de tetrabroomdifenylether de analysemethode voor PCBs min of meer gekopieerd kon worden, is dit voor de decabroomdifenylether geenszins het geval. DecaBDE wordt afgebroken bij een te lange blootstelling aan hoge temperaturen zoals in de splitless injector en op de GC kolom. DecaBDE wordt afgebroken onder invloed van zonlicht, dus ook in het laboratorium. DecaBDE lost heel slecht op in diverse oplosmiddelen waardoor de deze stof soms uit de oplossing verdwijnt. DecaBDE komt bovendien voor in huisstof en dus ook in laboratoriumstof, waardoor het uitvoeren van vele blanco testen van cruciaal belang is. Omdat juist de afbraak van decaBDE een belangrijk onderzoeksthema is, wordt duidelijk waarom een goede kwaliteit van analyse hier essentieel is. Vanwege de genoemde verschillen met bijvoorbeeld een PCB analyse, blijkt dat de laboratoria die een dergelijke methode installeren, ondanks regelmatig georganiseerde ringtesten en trainingen enkele jaren nodig hebben om dit type analyse onder de knie te krijgen.

Mijns insziens zijn er twee redenen waarom er met deze methodeontwikkeling zoveel tijd gemoeid is. Door bezuinigingen en privatisering wordt er meer en meer druk op laboratoria uitgeoefend om resultaten te produceren. Accreditatie helpt om de kwaliteit op een zeker peil te houden, maar heeft geen invloed op het stadium van methodeontwikkeling. Strategische gelden zijn maar mondjesmaat beschikbaar en klanten willen over het algemeen wel betalen voor een analyse maar niet voor een methodeontwikkeling. Zodoende is er weinig tijd beschikbaar om tot een volledige methodeontwikkeling en validatie te komen. Als gevolg daarvan verschijnen er rapporten en publicaties die gebaseerd zijn op metingen van soms zeer twijfelachtige kwaliteit. Sinds 1999 zijn vijf rondes aan internationale ringtesten voor gebromeerde vlamvertragers georganiseerd. Desondanks is er nauwelijks vooruitgang in de

variatiecoëfficiënten voor decaBDE, die boven de 50% liggen. Wel verschijnen er jaarlijks honderden artikelen over metingen van gebromeerde vlamvertragers in het milieu. De eerste internationale interlaboratoriumstudie naar perfluoralkyl verbindingen toonde een range van variatiecoëfficiënten van 20 tot 150%. Niettemin waren er tijdens de afgelopen Fluoros Workshop in Toronto meer dan honderd presentaties gebaseerd op vele metingen van deze fluor verbindingen, soms zelfs uitgedrukt in enkele decimalen, maar geheel voorbijgaand aan mogelijk grote analytische fouten. Er is dus wel tijd om te meten, maar blijkbaar onvoldoende tijd om goed te meten! Maar er zal ongetwijfeld wel weer tijd en geld zijn om alles te herhalen als dat nodig is. Referees van wetenschappelijke tijdschriften doen er goed aan meer dan ooit kritische kanttekeningen te maken bij aangeboden manuscripten waarvan niet helder is of de geproduceerde getallen een voldoende gevalideerde basis hebben.

3.3 Alternatieve methoden

‘Laboratoria zijn duur’. Dat is een tegenwoordig veel gehoorde uitspraak. Jazeker, het kost wat om een kwalitatief goede analyse van complexe microverontreinigingen uit te voeren. Aan de andere kant: te weinig meten is soms nog veel duurder. Sprekende voorbeelden daarvan zijn gemakkelijk te vinden. Wat te denken van de al eerder genoemde Belgische dioxinecrisis? Een gebrek aan monitoring maakte illegale praktijken mogelijk, waarschijnlijk veel meer dan die ene die in België werd ontdekt. Een gevallen regering en honderden miljoenen euro’s aan schade waren het gevolg. Met het ontmantelen van de Ekofisk tank midden in de Noordzee zijn honderden miljoenen dollars gemoeid. Op de analyses, nodig om vast te stellen hoeveel PCBs en kwik er nu daadwerkelijk voorkomen in de diverse tanks werd sterk bezuinigd. Een investering van een paar duizend euro in wat meer analyses zou de schoonmaakkosten met enkele miljoenen hebben kunnen reduceren. Nederlandse en andere West-Europese binnenwateren moeten door de huidige wetgeving uitgebaggerd worden om het contaminantenniveau tot aanvaardbare waarden terug te dringen. Overheden zullen tientallen jaren nodig hebben om de benodigde gelden hiervoor op te brengen. Een betrekkelijk gering aantal extra analyses en daardoor een weinig meer inzicht in de werkelijke beschikbaarheid van de contaminanten zou kunnen leiden tot een enorme reductie in deze kosten.

Tot zover de redenen waarom laboratoria en analyses helemaal niet duur zijn. Maar dat ontslaat de onderzoeker niet van de plicht ook op zijn of haar terrein te zoeken naar kostenreductie. Ik besef ten volle dat het na een uitvoerig clean-up en fractioneringsproces analyseren van vlamvertragers met een combinatie van comprehensive twee-dimensionale gaschromatografie met Time-of-Flight massa-spectrometrie voorzien van electron impact negatieve chemische ionisatie een dure aangelegenheid is die niet zo maar voor elke stof aangewend kan worden. Toch is op dit gebied de laatste jaren vooruitgang geboekt. Tot nu toe werden in het stadium van extractie en clean-up traditionele wegen bewandeld: veelal een Soxhletextract gevolgd door clean-up en fractionering over diverse chromatografiekolommen. Behalve de arbeidstijd en de kosten die hiermee gemoeid zijn, hebben we ook te maken met een groot aantal foutenbronnen. Iedere extra stap is immers een potentiële foutenbron. De in het Europese onderzoeksproject DIFFERENCE ontwikkelde gecombineerde extractie-methode gebaseerd op pressurized liquid extraction (PLE) ook wel accelerated solvent extraction (ASE) genoemd, wijst in dit verband de weg voorwaarts: in één stap worden extractie, vetverwijdering en fractionering uitgevoerd. Na deze stap kan het extract direct met GC-MS worden geanalyseerd. Een enorme besparing aan analysetijd en een sterke reductie van foutenbronnen. Waar jarenlang gesleuteld is aan een betere eindanalyse,

lijkt nu dan toch de tijd gekomen om onder de druk van oplopende kosten tot een verdere vereenvoudiging en tegelijk verbetering van de extractie en clean-up te komen.

Hoewel er, veelal toxicologische, redenen zijn, om een congeneer-specifieke analyse uit te voeren, kan het voor routinematig onderzoek en bij calamiteiten zeer nuttig zijn om een andere benadering te kiezen voor de analyse. Een op een effect gebaseerde meting in de vorm van een bioassay is daarvoor één van de mogelijkheden. Een bekend voorbeeld is de DR-CALUX bioassay voor de analyse van dioxines. Via een cellijn wordt een redelijk betrouwbare schatting van het totaal dioxine gehalte verkregen. Hoewel door de ogen van een analytisch chemicus de validatie nog hiaten vertoont, moet gesteld worden dat dit een bijzonder nuttige assay is die kostenbesparend werkt. Andere assays zijn nog minder ver ontwikkeld, maar de verwachting is dat meer van dergelijke assays beschikbaar zullen komen voor het meten van contaminanten.

Een andere benadering in de risico-evaluatie van stoffen is de zogenaamde TIE systematiek: toxicity identity evaluation. Op een extract waarin een effect wordt gevonden, wordt een verdere zuivering en fractionering toegepast, net zolang tot een enkele fractie met daarin de actieve stof overblijft. Ook hierin is de noodzaak van een combinatie van analytische chemie en toxicologie overduidelijk.

Tenslotte zullen in de verdere toekomst steeds meer technieken beschikbaar komen vanuit het genomics onderzoek. Nu al biedt een nieuwe techniek als 'Biacore': real-time biomolecular interaction analysis (BIA) gebruik makend van de surface plasmon resonance mogelijkheden voor de analyse van biotoxinen, zoals op het ogenblik wordt ontwikkeld binnen het Europese onderzoeksproject BIOTOX. Ongetwijfeld zullen andere technieken volgen, waarbij de gevoeligheid nog verder toe zal nemen. PCR gebaseerde technieken, dipstick tests, het klinkt allemaal nogal futuristisch, maar langzaam maar zeker komen dit soort technieken binnen bereik. In de ontwikkeling en de validatie van deze testen komen de analytische chemie en toxicologie bij elkaar. Het is één van de aspecten van mijn onderzoek hier in Wageningen om op deze weg door te gaan, daarbij in het oog houdend dat het bijzonder nuttig zal zijn om promovendi af te leveren die zowel van de toxicologie als van de analytische chemie voldoende kennis en begrip hebben. Die kennis zal in de komende jaren nodig zijn, o.a. voor werk dat het Europese REACH programma met zich mee zal brengen.

4. De vissen

In mijn inleiding stelde ik al dat *de* vissen in mijn onderzoek veelal als meewerkend voorwerp aanwezig zijn. Wat hebben we geweldig goed gebruik kunnen maken van de paling als biomonitor van gehalogeneerde stoffen in het Nederlandse milieu: zeer plaatsgebonden, geen paaigedrag, lekker vet, een mooier organisme is voor dit soort doelen niet denkbaar. De zeer vette lever van kabeljauw is ook van groot nut geweest in onze monitoring programma's. Is het overigens niet opvallend dat juist deze twee vissoorten met uitsterven worden bedreigd? Zou het hoge vetgehalte en de daardoor hoge belasting door de jaren heen van deze vissen met gehalogeneerde verontreinigingen mede of misschien zelfs uitsluitend de oorzaak hiervan zijn? Jammer dat er tot nu geen interesse bij de overheid was om hier wat meer aandacht aan te besteden, bijvoorbeeld door het uitbreiden van de zwemtunnel experimenten met wel en niet met contaminanten belaste paling, waarvan we een eerste stadium samen met de Universiteiten van Leiden en Wageningen hebben uitgevoerd. Veel energie is ook gestoken in de ontwikkeling van 'kunstvissen': ik doel op de zogenaamde 'passive samplers' die in

feite proberen een gekooide vis in het milieu of een mossel na te bootsen of beter gezegd te overtreffen in eigenschappen. Een passive sampler wordt uitgehangen in het milieu en na enkele weken weer binnengehaald waarna deze een beeld geeft van de verontreiniging ter plaatse. Hoewel de interpretatie van de resultaten van deze passive samplers nog complex is, zijn er groeiende perspectieven voor deze manier van monitoring. Voor de milieuonderzoekers is het alternatief voor de uitstervende paling en kabeljauw dus al voorhanden!

Natuurlijk is de vis soms ook als lijdend voorwerp in beeld. In Europa gekweekte vis heeft te hoge gehalten aan gehalogeneerde contaminanten wanneer deze wordt gevoed met op Noordzeevis gebaseerde visolie of vismeel [14]. Omdat er niet voldoende schone visolie en vismeel, bijvoorbeeld uit Chili, voorhanden is, ligt hier nog een mooi onderzoeksterrein. Is er een alternatief voor visolie en vismeel? Kunnen de contaminanten op een commercieel aantrekkelijke wijze uit de olie en het meel verwijderd worden? Wat is eigenlijk de afweging van risico en voordeel, oftewel de risk-benefit situatie van de consumptie van gekweekte en ook wild gevangen vis? Ik hoop de gelegenheid te krijgen om komende tijd hieraan te werken samen met de hooggeleerde collegae Verreth en Rietjens.

Langzamerhand kom ik nu op de risico's voor de mens. Wat betekent dit nu allemaal? Mooi dat we zo gevoelig kunnen meten, maar is dat ook echt nodig? Hebben deze stoffen echt een duidelijk effect op de mens? Nu betreed ik het terrein van toxicologie. Ik prijs me gelukkig om binnen de inspirerende vakgroep Toxicologie aan het werk te gaan in de hoop een vruchtbare combinatie van chemie en toxicologie te kweken. Mijn bijzondere aandacht gaat uit naar de mengseltoxiciteit. Ik was dan ook bijzonder blij om juist voor mijn aantreden in Wageningen de tekst van de inaugurele rede van mijn hooggeleerde collega Groten te ontvangen waarin een heldere uiteenzetting van dit moeilijke onderwerp wordt gegeven [15]. Ik zal mij vandaag niet op dit terrein begeven, maar ik ben ervan overtuigd dat dit onderwerp steeds belangrijker zal worden. Ik verheug me wat dat betreft ook op de samenwerking.

5. Slotopmerkingen

In het begin van mijn opleiding, waarin ik mij allerlei analysemethoden eigen trachtte te maken, wees mijn grote vriend en studiegenoot Albert Moerkerken mij er herhaaldelijk op dat ik bezig was met het bepalen van spijkers op laag water. Door de jaren heen heb ik mijzelf die vraag nog vaak gesteld. Is het meten van enkele picogrammen van een contaminant gelijk aan het zoeken naar spijkers op laag water? Is dergelijk onderzoek wel relevant? Ik ben ervan nog steeds van overtuigd dat dit onderzoek wel degelijk noodzakelijk is. Natuurlijk, niet alle stoffen zullen op een niveau van enkele picogrammen per gram een effect vertonen. Gelukkig, verreweg de meeste stoffen zullen dat niet doen. Echter, nog steeds zien we een sterke toename van de wereldbevolking. Dat betekent meer behoefte aan voedsel, maar ook meer behoefte aan kleding, aan huizen, transport, apparatuur. DHL bestelde enkele weken geleden bij Boeing tien jumbojets tegelijk om het groeiend aantal transporten vanuit China naar de Verenigde Staten te kunnen verwerken. Dat soort zaken laat het milieu niet ongemoeid! Een groeiende economie, zeker. Maar ook steeds grotere risico's op onacceptabele milieu- en gezondheidseffecten. Het is een illusie om te veronderstellen dat met het uitbannen van gehalogeneerde contaminanten en met programma's zoals REACH het effect van stoffen op het milieu en de mens tot nul gereduceerd zal worden. Door de stijgende behoeften aan een veelheid aan materialen zullen steeds opnieuw bepaalde stoffen in ons milieu en voedsel worden aangetroffen die door potentiële toxische effecten onacceptabel zullen blijken te zijn.

Economische groei is geen oplossing voor de problemen op onze planeet. Groei betekent meer consumptie, meer energie en ook meer afvalstoffen. Als ieder van de huidige 6.2 miljard wereldbewoners net zoveel van de natuurlijke hulpbronnen zou gebruiken als de gemiddelde Amerikaan (dat is twee keer zoveel als de gemiddelde Europeaan) zouden we nog drie aardes nodig hebben [16]. Maximaal twee kinderen per gezin is de oplossing volgens Dennis Meadows, schrijver van 'Grenzen aan de groei' en van de dertig jaar latere, onlangs verschenen update hiervan [17]. Ik stem vanuit het oogpunt van verontreinigende stoffen daar geheel mee in.

Wat niet meer groeit is het aantal milieulaboratoria in Nederland. In tegendeel, in de afgelopen jaren zijn nogal wat milieulaboratoria verdwenen. Aan de universiteiten werd dat veroorzaakt door gebrek aan studenten (wat hebben we de voorlichting op dit punt toch verwaarloosd!), bij de overheid door steeds voortschrijdende bezuinigingen op onderzoeksbudgetten, terwijl in de particuliere sector kostenbesparingen in een teruglopende economie het beeld bepaalden. De vooraanstaande positie die we op dit gebied in Nederland hadden, is daarmee helaas verspeeld. Bij het opheffen van vakgroepen is voortdurend per universiteit een beslissing genomen in plaats van dit soort zaken naar een nationaal niveau te trekken. Het zou goed zijn als we in Nederland veel meer gezamenlijk zouden optrekken op dit gebied. Er zou veel meer moeten worden samengewerkt in plaats van, zoals dat nu zelfs binnen één concern als de WUR vaak het geval is, elkaar te beconcurreren. Onze dichtbevolkte delta heeft dringend behoefte aan dit type en soortgelijk onderzoek en er is nog steeds veel wetenschappelijk talent beschikbaar.

Het is daarnaast betreurenswaardig om te zien hoeveel potentiële onderzoekstijd wordt verspild aan onnodige vergaderingen, zichzelf herhalende en tot niets leidende veranderingen in de aansturing van onze organisaties en andere van het onderzoek afleidende bezigheden. Veel managers lijken tegenwoordig meer oog te hebben voor hun eigen succes en steeds minder voor het succes van de organisatie. Het management zelf wordt daarbij als een soort spel beschouwd met de werknemer als zeer ondergeschikte pion aan wie de arbeidseer en –lust volledig worden ontnomen. In deze zogenaamde afrekencultuur wordt altijd en vreemd genoeg volledig voorbijgegaan aan het feit dat de vele, veelal tot niets leidende managementactiviteiten rechtstreeks en significant op het financiële resultaat van de organisatie drukken. Met genoegen citeer ik de hooggeleerde rechtsfilosofe Pessers van de Vrije Universiteit die in haar boek 'Beroepszeer – Waarom Nederland niet meer goed werkt' schetst hoe professionals in de publieke en private sector heden ten dage worden aangesproken in een taal die niet meer de hunne is maar deel uitmaakt van het 'management theater' [18]. Om u een voorbeeld te geven van een dergelijke taal, noem ik u een aantal termen die binnen het RIVO binnen een kort tijdsbestek zijn ingevoerd: front en back-office, secondanten, leads, prospects, suspects, marktfocusveld-managers, hold-statements, incentives en dashboard. "Het management theater", volgens Pessers, "een schijnwereld met een theatrale retoriek en een manager als regisseur, beschikt over dwangmiddelen als prestatie-contracten, protocollen, procedures, afrekeningen op basis van output en rendement en voortdurende controle van de werknemers met elektronische hulpmiddelen". Aan professionals wordt zo langzaam maar zeker de beroepseer vervangen door besroepszeer met een groot verlies aan motivatie en productiviteit als gevolg. Artsen zijn ondernemers geworden, docenten coaches, hoogleraren fondsenverwerwers en onderzoekers, ik citeer mijn hooggeleerde collega Daan, "stofzuigerverkopers". Volgens de Raad van Economische Adviseurs (REA) van de Tweede Kamer is een steeds groter deel van de Nederlandse beroepsbevolking bezig met het bestuderen, uitvaardigen, implementeren en controleren van regels in plaats van met het daadwerkelijk uitvoeren van productieve arbeid [19]. Ook mij is

natuurlijk duidelijk dat in deze tijd gelden voor onderzoek niet meer vrijelijk beschikbaar komen zoals in de zestiger en zeventiger jaren. Echter, mij dunkt dat de huidige cultuur op dit gebied volledig is doorgeschoten. We zijn alleen nog maar bezig met veranderingen in plaats van met gewoon eens een paar jaar te werken om zo een ontwikkeld model ook eens de kans te geven succesvol te zijn. Managers dienen daarbij vooral faciliterend te zijn. Gelukkig zijn er recentelijk signalen, zoals die van Pessers waar te nemen, die pleiten voor een terugkeer naar het realiteitsprincipe en herstel van de professionele autonomie ten behoeve van een productiever Nederland. Ik ondersteun die van harte.

Wat betreft het onderwijs: in april van dit jaar was er een bijeenkomst van hoogleraren aan deze universiteit waarin de promotie-eisen ter discussie werden gesteld. De vraag was: moeten wij onze studenten het nog wel aandoen om ze te vragen drie of vier artikelen af te leveren voor een wetenschappelijk proefschrift? Ook hier is natuurlijk een diepere drijfveer achter te vinden: minder strenge eisen betekent vaak een aantrekkelijkere studie voor studenten, dus meer studenten. Op hoeveel opleidingen is dit slechte voorbeeld al gegeven? Het overwegen van dit soort acties is mijns insziens wel het laatste wat we nodig hebben. In de laatste 20 jaar is de kwaliteit van het onderwijs van basisschool tot aan het MSc niveau flink achteruit gegaan. Het is mijns insziens zeer noodzakelijk om die kwaliteit weer op peil te brengen bijvoorbeeld door een forse verhoging van het onderwijsbudget over de gehele linie van het onderwijs, zodat tenslotte ook de kwaliteit van de wetenschappelijke promotie gehandhaafd kan blijven. Niemand heeft in onze steeds verder globaliserende wereld op termijn iets aan half opgeleide onderzoekers.

6. Dankwoord

Tenslotte, een dankwoord. Niet alleen de wetenschap levert interessante uitdagingen en nieuwe gezichtspunten. Ik ben van mening dat je in alle omstandigheden veel kunt leren van de mensen om je heen. Ik heb het voorrecht gehad om in mijn hele loopbaan te kunnen genieten en leren van zeer inspirerende leermeesters en collega's.

Zeergeleerde Hagel, beste Paul, zonder jou had ik hier nooit gestaan. Nogmaals heel hartelijk dank voor je steun, motivatie, begeleiding en verfrissende ideeën die nog steeds opborrelen, nu in het noorden van het land. Wat hebben we een mooie tijd gehad samen!

Hooggeleerde Brinkman, beste Udo, ook aan jou dank ik bijzonder veel! Wat een energie, wat een kennis en inzicht. Wat heb je veel geboden aan de analytische chemie en aan mij! Heel veel dank voor een inspirerende samenwerking.

Hooggeleerde Rietjens, beste Ivonne, dank je wel voor je hartelijke en gastvrije onthaal in Wageningen. Ik ben vereerd om met jou en Tinka en andere 'Tox' collega's te mogen samenwerken. Wat een zalige omgeving om wetenschappelijk werk te doen. Ik hoop dat deze samenwerking nog lang mag duren.

Hooggeleerde Verreth, beste Johan, ik kijk uit naar een vruchtbare samenwerking op het gebied van contaminanten en gekweekte vis. Hartelijk voor je open opstelling. Hooggeleerde Brascamp, beste Pim, hartelijk dank voor je steun in de voorbereiding van deze hoogleraars plaats. Ik heb dat zeer op prijs gesteld. Zeergeleerde Scholten, we denken heel verschillend over de aansturing van wetenschappelijk onderzoek. Dat staat los van het feit dat je je hebt ingezet voor deze hoogleraars positie waarvoor ik je dank ben verschuldigd. Hooggeleerde

Huirne, met plezier en dank kijk ik terug op een paar bijzonder prettige gesprekken in de afgelopen tijd. Bedankt voor je steun!

Zeergeleerde Leonards, beste Pim, zonder twijfel zul je ook een keer in dezelfde omstandigheden verkeren als ik op dit ogenblik. Wat heb jij veel bijgedragen tot ons gezamenlijk wetenschappelijk succes en tot de groei van de afdeling M&V van het RIVO. Je bent er het levende bewijs van dat wetenschappelijk onderzoek op contractbasis mogelijk is. Maar dan wel door aan de klant kwaliteit en kennis te leveren en geen loze verkooppraatjes. Beste Stefan, Michiel, Heather, alle analisten van M&V, de tijd is helaas tekort om op elk van jullie even persoonlijk in te gaan. We zijn een geweldig team samen en het is voor mij elke dag weer een groot plezier om met jullie allemaal samen te werken. In ben ervan overtuigd dat we samen de huidige woelige tijden goed zullen overleven. Hoe graag had ik Balte Verboom er vandaag bij gehad. Dat heeft helaas niet zo mogen zijn. Ook dank ik alle overige RIVO collega's voor een bijzonder prettige en inspirerende werkomgeving.

Tenslotte dank ik vele binnen- en buitenlandse collega's voor een prettige samenwerking en het delen van ideeën. Hooggeleerde Cofino, beste Wim, zeergeleerde Boon, beste Jan, en vele anderen, wat is het altijd weer een feest om met jullie samen onderzoek te doen, maar natuurlijk ook om samen cocktails te drinken op een dakterras in Toronto of samen sticky toffee pudding te nuttigen in Aberdeen.

Dankbaar mag ik constateren dat mijn familieleven weinig met troebel water van doen heeft gehad. Maar als er dan even een periode met 'troebel water' was, dan was daar een vaste brug. Oneindig veel dank ben ik verschuldigd aan mijn eigen 'bridge over troubled water': Hanny, zoveel heb je opgevangen. Natuurlijk dank ik ook Elsemieke die me zo vaak heeft moeten missen ("Can I speak to Jacob de Boer?") en Pim die al zoveel weet en ook zo graag wil weten van dit soort onderzoek ("Pappa, wat is kleiner dan een electron?" en "Wat is de gevaarlijkste haai?"). *Samen* zijn we 100%! Ik sluit af in dierbare herinnering aan mijn ouders die onder moeilijke omstandigheden ons gezin moesten opvoeden. De Lemairestraat in IJmuiden was geen kweekvijver van hoogleraren. Mede door hun opvoeding is er toch één uitgekomen.

In de hoop dat sommigen onder u in enige mate geïnspireerd zullen zijn door deze rede en in de zekerheid dat anderen blij zullen zijn dat dit formele deel nu achter de rug is, dank ik u tenslotte oprecht voor uw aanwezigheid en aandacht.

Ik heb gezegd.

Referenties

- [1] R. Carson (1962) *Silent Spring*. Houghton Mifflin, Boston, USA.
- [2] D. H. Meadows, D.L. Meadows, J. Randers, W. W. Behrens (1974) *Limits to the growth*. Report to the Club of Rome's project on the predicament of mankind, Potomac Associates, New York, USA.
- [3] J. Koeman (1971) Het voorkomen en de toxicologische betekenis van enkele chloorkoolwaterstoffen aan de Nederlandse kust in de periode van 1965 tot 1970. Proefschrift, Rijksuniversiteit, Utrecht.
- [4] S. Jensen (1966) Report of a new chemical hazard. *New Scientist* **15**, 612.
- [5] Arctic Pollution Issues: A state of the arctic environment report. AMAP, Oslo, Norway, 1997.
- [6] J. de Boer, P.G. Wester, J.C. Klamer, W.E. Lewis, J.P. Boon (1998) Brominated flame retardants in sperm whales and other marine mammals - a new threat to ocean life? *Nature* **394**, 28.
- [7] Norén, K., Meironyté, D. (2000) Certain organochlorine and organobromine contaminants in Swedish human milk in perspective of past 20-30 years. *Chemosphere* **40**, 1111.
- [8] A. De Cock, G. Houins (1999) Food contamination by PCBs and dioxins. *Nature* **410**, 231.
- [9] Fluoros - International Symposium on Fluorinated Alkyl Organics in the Environment, University of Toronto, Canada, 18-20 August 2005.
- [10] A.T. James and A.J.P. Martin. (1952) Gas-liquid chromatography: the separation and micro-estimation of volatile fatty acids from formic acid to dodecanoic acid. *Biochem. J.* **50**, 679.
- [11] H.-J. de Geus (2002) Determination of toxaphene and other halogenated environmental contaminants using heart-cut comprehensive two-dimensional gas chromatography. Proefschrift, Vrije Universiteit, Amsterdam.
- [12] P. Korytar, P.E.G. Leonards, J. de Boer, U.A.Th. Brinkman (2005) Group separation of organohalogenated compounds by means of comprehensive two-dimensional gas chromatography. *J. Chromatogr. A* **1086**, 29.
- [13] Wells, D.E., Aminot, A., de Boer, J., Cofino, W.P., Kirkwood, D., Pedersen, B. (1997) A review of the achievements of the EU project 'QUASIMEME' 1993-1996. *Mar. Pollut. Bull.* **35**, 3.
- [14] R. Hites (2004) Global assessment of contaminants in farmed salmon. *Science* **303**, 226.
- [15] J. Grooten (2004) Toxicologie van chemische mengsels. Inaugurele rede. Wageningen Universiteit.
- [16] M. Wackernagel et al. (2005) Europe 2005 – The ecological footprint. International World Wildlife Fund, Gland, Switzerland.
- [17] D.L. Meadows, J. Randers, D.H. Meadows (2004) *Limits to growth. The 30-year update*. Chelsea Green Publ., White River Jct., VT, USA.
- [18] G. van den Brink, Th. Jansen, D. Pessers (2005) Beroepszeer – Waarom Nederland niet meer goed werkt. Christen Democratische Verkenningen, Boom, Amsterdam.
- [19] Tweede Kamer (2005). Antwoorden op vragen over de Voorjaarsnota, Kamerstuk 30105.